

Tomi Pitkänen

Ilmanvaihtokuilujen ja -konehuoneiden vaatimien tilavarausten mitoittaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

29.4.2018

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Tomi Pitkänen Ilmanvaihtokuilujen ja -konehuoneiden vaatimien tilavarausten mitoittaminen 35 sivua 29.4.18
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	osastonjohtaja Ossi Myllymäki lehtori Seppo Innanen
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli selvittää ilmanvaihtokuilujen ja -konehuoneiden vaatimien tilavarausten mitoittamiseen vaikuttavia tekijöitä sekä uusien rakentamismääräysten vaikutuksia niihin. Työssä tutkittiin, millä tavoin kirjallisuudessa on ohjeistettu tilavarausten määrittämistä ja kuinka hyvin tehdyt mitoittamisohjeet soveltuvat käytettäväksi nykypäivän kohteisiin. Työn tavoitteena oli hyödyntää kerättyä tietoa luomalla niistä ilmanvaihdon tilavarausten mitoittamiseen soveltuva ilmapuhtautus perustuva mitoituslaskelma, jonka avulla voidaan määrittää ilmanvaihtokuilujen ja -konehuoneiden kokoja kohteeseen suunniteltujen ilmamäärien perusteella.</p> <p>Tilavarausten mitoittamista tutkittiin kirjallisuuden eri lähteistä sekä hyödyntämällä suunniteltuja projekteja. Suunniteltujen projektien avulla saatiin kerättyä tunnuslukuja, joita hyödyntämällä luotiin mitoituslaskelma. Tutkimuksissa käytettiin ensisijaisesti toimistorakennuksia, mutta myös liikerakennus oli tarkastelun kohteena. Kohteet valittiin n. 15 vuoden ajalta, jolloin voitiin vertailla rakentamismääräysten muutosten vaikutusta toteutuneisiin tilavarausten tarpeisiin.</p> <p>Työssä havaittiin, että luodut ohjeet tilavarausten tekemiseen ovat vanhoja ja soveltuvat huonosti käytettäväksi nykypäivän kohteissa. Kirjallisuuden ja suunniteltujen kohteiden avulla onnistuttiin luomaan mitoituslaskelma, joka vastaa paremmin nykypäivän vaatimuksia.</p> <p>Kirjallisuuteen perehtymällä saatiin kerättyä tietoa tilavarauksiin vaikuttavista tekijöistä, jota voidaan hyödyntää tulevilla projekteilla. Mitoituslaskelman avulla havaittiin, että kirjallisuuden ohjeet tilavarausten mitoittamiseen eivät sovellu käytettäväksi sellaisenaan, vaan ne vaativat päivittämistä. Suunniteltuja kohteita tutkimalla saatiin kerättyä tunnuslukuja, joita voidaan hyödyntää myös tulevilla projekteilla.</p>	
Avainsanat	ilmanvaihto, tilavaraus, mitoittaminen

Author Title	Tomi Pitkänen Reserving Space for Ventilation Shafts and Rooms
Number of Pages Date	35 pages 29 April 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC Design
Instructors	Ossi Myllymäki, Department Manager Seppo Innanen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this final year project was to study factors that have an effect on dimensioning spaces for ventilation shafts and rooms, as well as the effect of the new building regulations on these factors. The aim was to find out how the dimensioning of spaces was instructed in literature and how suitable the instructions are with the building regulations. The goal was to use gathered information to create a dimensioning tool for the spaces that ventilation systems need.</p> <p>To study the dimensioning of spaces, various literary sources, as well as completed projects, mainly office buildings but also a shopping centre, were looked into. The projects were studied to gather parameters that were then used to create a tool for dimensioning. The buildings were completed at different times to establish the influence of building regulations on the spaces dimensioned for ventilation.</p> <p>The final year project showed that the instructions for space dimensioning are outdated and cannot be used for future projects. A dimensioning tool that better fits the current building regulations was created and now used.</p> <p>.</p>	
Keywords	ventilation, dimensioning, space reservation

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Tilavarauksiin vaikuttavat tekijät	2
2.1	Ilmamäärät	2
2.2	Ominaissähköteho	3
2.3	Lämmöntalteenotto	6
3	Ilmanvaihdon tilavaraukset	7
3.1	Ilmanvaihtokanavat	7
3.2	Ilmanvaihtokuilut	8
3.3	Ilmanvaihtokonehuoneet	10
4	Ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuus	14
4.1	Ilmanvaihdon energian kulutus	14
4.1.1	Ilmanvaihdon lämmitys	15
4.1.2	Ilmanvaihdon sähkönkulutus	15
4.2	Ilmanvaihdon suunnittelu	15
5	Ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuuden parantaminen	17
5.1	Toimenpiteet	17
5.2	SFP-luvun parantaminen	23
5.2.1	Puhaltimen kokonaishyötysuhteen parantaminen	23
5.2.2	Kanavakokojen suurentaminen	24
5.2.3	Ilmanvaihtokoneen uusiminen	26
6	Tilavarausten mitoittaminen	28
6.1	Johdanto	28
6.2	Ilmanvaihtokuilut	28
6.2.1	LVI 06-10105	29
6.2.2	Mitoitustyökalu	30
6.3	Ilmanvaihtokonehuoneet	31
6.3.1	LVI 06-10105	31
6.3.2	Mitoitustyökalu	32
7	Yhteenveto	33

Lyhenteet

IV	Ilmanvaihto
IVKH	Ilmanvaihtokonehuone
LTO	Lämmöntalteenotto
SFP	Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho
SFP _{int}	Ilmanvaihtokoneen sisäinen ominaissähköteho

1 Johdanto

Työn tilaajana toimi Granlund Oy, jossa opinnäytetyön tekijä työskentelee LVI-suunnittelijaharjoittelijana. Työn tavoitteena oli luoda yritykselle mitoitustyökalu ilmanvaihtokuilujen ja -konehuoneiden tilavarausten mitoittamiseen. Tämä aihe valittiin, koska ilmanvaihdon vaatimien tilavarausten mitoittamiseen ei ole laadittu nykyisten rakentamismääräysten mukaista ohjetta.

Tässä insinöörityössä perehdytään ilmanvaihtokuilujen ja -konehuoneiden vaatimien tilavarausten mitoittamiseen. Työssä käsitellään mitoituksiin vaikuttavia tekijöitä sekä muuttuvien rakentamismääräysten vaikutuksia. Suunniteltuja kohteita tutkimalla on tavoitteena saada tarkempi käsitys toteutuneista ilmanvaihtokuilujen ja -konehuoneiden mitoituksista, joita voitaisiin hyödyntää myös tulevilla projekteilla.

Kirjallisuustutkimuksen avulla selvitetään, millä tavoin ilmanvaihdon tilavarausten mitoitusta on ohjeistettu ja mitkä määräykset ovat olleet voimassa ohjeiden tekohetkellä. Työssä tutkitaan, millä tavoin vaikutuksia rakentamismääräysten uusimisella on ollut ja miten laaditut ohjeet soveltuvat käytettäväksi nykyisten määräysten kanssa.

Suunnitelluista kohteista tehdään vertailututkimus, jonka avulla laaditaan laskentatyökalu tilavarausten mitoittamiseen ilmamäärien perusteella. Tavoitteena on, että laskentatyökalua voitaisiin hyödyntää ilmanvaihtokuilujen sekä -konehuoneiden tilavarausten mitoittamiseen myös tulevilla projekteilla.

Työssä tutkitaan uusia rakentamismääräyksiä ja niiden vaikutusta ilmanvaihdon tilavarausten mitoittamiseen ja ilmanvaihdon suunnitteluun. Tavoitteena on selvittää, millä toimenpiteillä ilmanvaihtojärjestelmistä saadaan energiatehokkaampia ja uusien määräysten mukaisia. Työssä keskitytään ensisijaisesti ilmamäärien ja ominaissähkötehon vaikutuksiin sekä niihin vaikuttaviin toimenpiteisiin.

2 Tilavarauksiin vaikuttavat tekijät

2.1 Ilmamäärät

Ilmanvaihdon tilavarauksiin vaikuttavista tekijöistä tärkeimpiä ovat kohteeseen suunniteltavat ilmamäärät. Uudiskohteen suunnittelussa rakennukselle valitaan sisäilmaluokka, jonka perusteella suunnitellaan ilmamäärät eri tilatyypeille. Eri tilatyypin ilmamäärästä on esimerkki taulukossa 1. Ilmamäärien tarkalla suunnittelulla varmistetaan hyvät sisäilmaolosuhteet tiloihin. Ilmanvaihdon tavoitteena on varmistaa terveellinen, turvallinen sekä viihtyisä ilmanlaatu oleskeluvyöhykkeelle. Uusi Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas antaa ohjeellisia arvoja eri tilatyypin ilmamäärästä, joita soveltamalla kohteen käyttötarkoituksen mukaan saadaan tiloihin toteutettua hyvät sisäilmaolosuhteet. Kun rakennuksen ilmamäärät ovat tiedossa, voidaan tehdä alustavat mitoituslaskut ilmanvaihtojärjestelmän vaatimista tilavarauksista. (1.)

Taulukko 1. Esimerkki toimistorakennuksen ilmamäärien mitoittamisesta (2).

LVI-tilatyyppi	Ulkoilmavirta $\text{dm}^3/\text{s}, \text{hlö}$	Ulkoilmavirta $\text{dm}^3/\text{s}, \text{m}^2$
Toimistohuone	6	1
Avotoimisto	6	1,5
Neuvotteluhuone	6	3
Taukotila		2
Käytävä		0,5
Aula		3

Erilaisten tilojen ilmanvaihtoa suunniteltaessa ja ilmamäärien valintoja tehdessä on tärkeää kiinnittää huomiota kanaviston painehäviöön sekä liian suurista virtausnopeuksista aiheutuviin ääniongelmiin. Ilmanvaihtokanavien mitoittamiseen löytyy valmiita taulukoita, joita hyödyntämällä virtausnopeudet eivät kasva liian suuriksi. Ilmanvaihtokanavat voidaan mitoittaa maksimi virtausnopeuden tai vakio kitkapainehäviön perusteella. Tuloilmanakanavissa voidaan käyttää myös staattisen paineen takaisin saamiseen perustuvaa mitoittamista. (3, s. 110.)

Uudet määräykset täytyy huomioida myös ilmanvaihtokanavien mitoituksessa ja niiden tarvitsemissa tilavarauksissa. Jotta ilmanvaihtojärjestelmästä saadaan energiatehokkaampi, se tarkoittaa myös, että ilmanvaihtokanaviston painehäviöiden täytyy olla pienemmät. Parempiin sisäilmaolosuhteisiin pyrkiessä ilmamäärät vielä kasvavat, jolloin myös painehäviöt kasvavat. Ilmamäärien kasvaessa täytyy huomioida, että painehäviöt ovat suoraan verrannollisia virtaaman neliöön. Tällöin virtaaman kaksinkertaistuessaa painehäviöt nelinkertaistuvat.

Useat ilmanvaihtojärjestelmien haasteet johtuvat väärin mitoitetuista kanavista. Kanavat täytyy mitoittaa aina mitoitusilmavirralla, jolloin järjestelmään jää tehostusvaraa ilman, että painehäviöt nousevat liian suuriksi. Kanaviston mitoituksessa täytyy myös huomioida mahdolliset muuntojoustotarpeet. Toimistoissa ja liiketiloissa vuokralaiset voivat vaihtua, jolloin ilmanvaihtotarpeet muuttuvat. On tärkeää, että ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelussa on huomioitu mahdolliset muutostarpeet, jotta ilmanvaihdosta saadaan uuden vuokralaisen tarpeita palveleva mahdollisimman pienillä lisäkustannuksilla sekä huonontamatta muiden tilojen ilman laatua.

2.2 Ominais sähköteho

Energiatehokkuuden parantamisella on suuri merkitys ilmanvaihtojärjestelmää suunniteltaessa. Talotekniset järjestelmät täytyy suunnitella mahdollisimman taloudellisiksi, jotta rakennus täyttää nykyisten rakentamismääräysten energiatehokkuusvaatimukset.

Ilmanvaihdon suunnittelussa on huomioitava ilmanvaihtojärjestelmän SFP-luku eli ominais sähköteho, joka kertoo kuinka paljon sähkötehoa ilmanvaihtokone tarvitsee siirtääkseen ilmaa yhden kuutiometrin sekunnissa. Vuonna 2018 julkaistussa ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen energiatehokkuudesta suurin sallittu ominais sähkötehon arvo on $1,8 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Vaaditusta SFP-luvusta voidaan kuitenkin poiketa poikkeustapauksissa. (4.)

Rakentamismääräyksen mukaisesta ominaissähkötehon arvosta voidaan poiketa, jos tuloilman puhtausvaatimuksen vuoksi joudutaan käyttämään tavallisesta poikkeavaa suodatusa. Vaaditusta SFP-luvusta voidaan poiketa myös, mikäli sisäilmaston hallinta edellyttää toiminto-osia, jotka aiheuttavat poikkeuksellisen suuren painehäviön. Sallittuja SFP-luvun poikkeamia voidaan tarkastella taulukosta 2. (5, s. 4.)

Taulukko 2. Sallittu SFP-luvun ylitys eri ilmapuhaltuskomponenteilla (5, s. 4).

Komponentti	Sallittu ylitys kW/(m ³ /s)
Mekaaninen lisäsuodatusosa	+0,3
HEPA-suodatin	+1,0
Kaasusuodatin	+0,3
Yli 70 % hyötysuhteen LTO	+0,3
Suurtehojäähdytin	+0,3

SFP-luvun laskennassa käytetään ulko- ja jäteilmavirroista suurempaa. Laskennassa käytetään ilmapuhaltusvirroista ainoastaan suurempaa arvoa, koska SFP-luvun tarkoitus on kuvata ilmanvaihdon tehokkuutta suhteessa sen käyttämään sähkötehoon. Ilmanvaihdon tehokkuutta kuvaa ilmanvaihtuvuus. Esimerkiksi jos ulkoilmavirta on 2 m³/s ja jäteilmavirta on 2,5 m³/s, ilmanvaihtuvuus on 2,5 m³/s. Nykymääräysten mukaan ilmavirrat tulisi suunnitella yhtä suuriksi, jotta hallitsematonta ilman vuotoa ei pääsisi tapahtumaan. (6, s. 8.)

SFP-luvut lasketaan järjestelmäkohtaisesti. Ilmanvaihtojärjestelmän SFP-luku voidaan laskea yhtälöllä 1. Laskennassa huomioidaan kaikkien ilmanvaihtokoneiden ottoteho, joka jaetaan ulko- tai jäteilmavirtojen summalla. (5, s. 2.)

$$SFP = \frac{P_{tulo} + P_{poisto} + P_{apu}}{q_{max}} \quad (1)$$

SFP on ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho, kW/(m³/s)

P tulo on tuloilmapuhaltimien ottama sähköteho yhteensä, kW

P poisto on poistoilmapuhaltimien ottama sähköteho yhteensä, kW

P apu on säätölaitteiden sekä LTO-pumppujen ja -moottorien ottoteho, kW

q max on mitoittava ulko- tai jäteilmavirta, m³/s

Kaikkien yksittäisten ilmanvaihtokoneiden ei tarvitse päästä alle sallitun arvon kunhan se huomioidaan muiden ilmanvaihtokoneiden mitoituksessa. Ilmanvaihtokoneen sähköverkosta ottamaan tehoon vaikuttaa puhaltimen lisäksi myös mahdollisten taajuusmuuttajien ottama sähköteho sekä muiden tehonsäätölaitteiden käyttämä sähköteho. Kuvassa 1 on esimerkki ilmanvaihtojärjestelmän SFP-luvun laskennasta. (3, s. 180.)

Tuloilmakoneet			Poistoilmakoneet			
Tunnus	qv tulo m ³ /s	P sähkö kW	Tunnus	qv poisto m ³ /s	P sähkö kW	SFP-luku
TK1	3,8	3,4	PK1	4	3,7	1,78
TK2	1,2	1,1	PK2	1,2	1,1	1,83
TK3	1,8	1,8	PK3	2,1	2	1,81
Yhteensä	6,8	6,3		7,3	6,8	1,79

Kuva 1. Esimerkki ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon laskennasta.

Käytännössä SFP-lukuun voidaan vaikuttaa parantamalla puhaltimen kokonaishyötysuhdetta tai pienentämällä ilmanvaihtokoneen ja kanaviston painehäviötä. Asennusvaiheessa on tärkeää, että ilmanvaihtokanavat asennetaan suunnitelmien mukaan, jotta ilmanvaihtokanavistolle laskettu painehäviö vastaa myös todellista tilannetta. Ilmanvaihtokonetta asennettaessa täytyy noudattaa valmistajan antamia ohjeita, jotta vältetään ylimääräisiltä painehäviöiltä. (3, s. 174.)

Kun ilmanvaihtojärjestelmä on asennettu, suunnitellun SFP-luvun toteutuminen varmistetaan mittaamalla ilmanvaihtokoneen kuluttama sähköteho mitoitusilmavirroilla. Mitäustuloksen poikkeama suunnitellusta arvosta voi olla enintään 10 %. (1.)

Ekosuunnitteluasetuksessa on määritelty myös SFP_{int} -luku, joka koskee vain ilmanvaihtokonetta eikä siinä huomioida kanaviston aiheuttamaa painehäviötä. SFP_{int} -luku on laskennallinen arvo, jolla pyritään suotuisasti vaikuttamaan ilmanvaihtokoneen aiheuttamaan painehäviöön sekä puhaltimen hyötysuhteeseen. SFP_{int} -luku on määritelty erikseen nestekiertoisen lämmöntalteenoton sisältäville ilmanvaihtokoneille. Kun käytetään nestekiertoista lämmöntalteenottoa, SFP_{int} -luvun maksimi-arvo on $1,3 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$, ja kun käytetään pyörivää tai levylämmönsiirintä maksimi-arvo on $0,8 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. SFP_{int} -luvun laskennassa käytetään myös korjauskertoimia. Korjauskertoimilla voidaan parantaa SFP_{int} -lukua, jos lämmöntalteenoton hyötysuhde on vaadittua minimitasoa parempi. Korjauskertoimilla voi olla myös negatiivinen vaikutus, jos ilmanvaihtokoneesta puuttuu joiain suodattimia viitekoonpanoon verrattuna. SFP_{int} -luku ei korvaa rakentamismääräysten mukaista koko järjestelmälle määritettyä SFP -lukua. (7.)

2.3 Lämmöntalteenotto

Lämmöntalteenotto on vakiovaruste nykypäivän ilmanvaihtokoneissa. Lämmöntalteenottojärjestelmän valinnalla on merkittävä rooli ilmanvaihtokoneen tilavaraustarpeen määrittämisessä. LTO-tyyppiä valitessa täytyy huomioida minkälaisia tiloja, kyseinen ilmanvaihtokone palvelee. Pyörivällä LTO-kiekolla saadaan paras hyötysuhde, mutta sitä ei voida käyttää, jos poistoilmassa on yli 5 % luokan 3 poistoilmaa tai lainkaan luokan 4 poistoilmaa, ilmavirtojen vähäisen sekoittuvuuden vuoksi. Nestekiertoisella lämmöntalteenotolla ilmavirrat eivät sekoitu, mutta kyseisellä LTO-tyypillä on myös alhaisin lämpötilahyötysuhde. Tilavarauksen kannalta täytyy huomioida, että jos käytetään pyörivää tai levylämmönsiirintä, tulo- ja poistoilmanvaihtokoneiden täytyy olla päällekkäin, jolloin myös ilmanvaihtokonehuoneen täytyy olla korkeampi. Nestekiertoinen LTO antaa enemmän vapauksia ilmanvaihtokoneiden sijoituksessa, eikä tulo- ja poistoilmanvaihtokoneiden tarvitse olla samassa tilassa. (3, s. 368.)

3 Ilmanvaihdon tilavaraukset

3.1 Ilmanvaihtokanavat

Ilmanvaihtokanavien suunnittelulla on oleellinen vaikutus koko järjestelmän taloudellisuuteen sekä ominaissähkötehoon. Suurempi kanaviston painehäviö tarkoittaa, että myös puhaltimen paineenkorotuksen täytyy olla suurempi, jolloin myös sen sähkötehon tarve kasvaa. Käyttämällä suurempia kanavakokoja saadaan pienennettyä kanaviston aiheuttamaa painehäviötä, mutta myös kanavien vaatimien tilavarausten koko kasvaa.

Kanavien mitoittavaan ilmavirtaan vaikuttavat palveltavien tilojen käyttötarkoitus, lämmitys- ja jäähdytystarve sekä tavoiteltava ilmanlaatu. Kanavien mitoituksessa tulee kiinnittää huomiota muuntojoustavuuteen, jotta mahdollisten käyttötapamuutosten tekeminen on mahdollista. Tilojen käyttötarkoitus saattaa muuttua alkuperäisestä jo suunnitteluvaiheen aikana, ja todennäköistä on, että muutoksia tehdään useaan kertaan rakennuksen elinkaaren aikana. Mikäli muuntojoustavuutta ei ole huomioitu, muutoksia tehtäessä joudutaan tinkimään järjestelmän energiatehokkuudesta tai halutusta sisäilman laadutuksesta. (3, s. 87.)

Kanavia suurentamalla saadaan pienennettyä virtausnopeutta. Käyttämällä pienempää virtausnopeutta ilmanvaihtokanavistoissa syntyvän virtausäänen määrä vähenee. Virtausnopeutta ja painehäviöitä pienentämällä voidaan asettaa verkoston säätölaitteille suuremmat painehäviöt suhteessa kanavien aiheuttamaan painehäviöön, jolloin verkoston säädettävyys ja tasapainottaminen helpottuvat. (6, s. 13.)

Ilmanvaihtoverkoston virtaamat asettuvat aina niin, että jokaisella reitillä on yhtä suuri painehäviö. Ilmanvaihdon suunnittelussa tulisi tämän vuoksi huomioida, että verkostossa ei ole yhtään haaraa, jonka painehäviö on selvästi muita haaroja korkeampi, koska tällöin muita haaroja joudutaan kuristamaan, jotta kaikkiin tiloihin saadaan suunnitellut ilmavirrat. Tämän seurauksena puhallin joutuu tuottamaan enemmän painetta, jolloin sähkötehon tarve ja SFP-luku suurenevät. (6, s. 13.)

Muuttuvailmavirtaisen ilmanvaihtojärjestelmän kanavisto pyritään suunnittelemaan siten, että mitoitusilmavirralla kanaviston painehäviö olisi 150–250 Pa. Tällöin ilmanvaihtokoneelle on käytettävissä riittävästi painehäviötä. Kanaviston painehäviötä laskettaessa on tärkeää huomioida myös ulko- ja jäteilmakanavien aiheuttama painehäviö. (3, s. 106.)

Kanavien vaatimien tilavarausten suunnittelussa tulee ottaa huomioon kanavien koon lisäksi niiden vaatimat eristykset sekä mahdollisten risteävien kanavien vaatimat tilat. Ilmanvaihdon suunnittelussa tulee huomioida kanavien kannakointi ja huollettavuus. Mikäli näitä ei ole huomioitu suunnitelmissa, joudutaan asennusvaiheessa poikkeamaan suunnitelmista, jolloin myös kanaviston aiheuttama painehäviö muuttuu, eivätkä tehdyt painehäviö- ja ominaissähköteholaskelmat vastaa enää todellisia arvoja. Ilmanvaihtokanaviston väljällä mitoituksella järjestelmästä saadaan tehtyä energiatehokas sekä helposti säädettävä, mutta suuremmat kanavat vievät myös enemmän tilaa rakennuksesta, joka täytyy ottaa huomioon konehuoneiden ja kuilujen mitoituksessa sekä vaakakanavien reitityksissä. (3, s. 87.)

Kanavisto tulisi lähtökohtaisesti suunnitella pyöreällä kierresaumakanavalla, jolla saavutetaan pienemmät painehäviöt kuin suorakaidekanavaa käytettäessä. Mikäli joudutaan tilanpuutteen vuoksi käyttämään suorakaidekanavia, tämä täytyy huomioida kanaviston kokonaispainehäviössä. Kanaviston kertavastuksia voidaan pienentää käyttämällä loivempia osia haarakohdissa, supistuksissa ja suunnanmuutoksissa sekä ilman virtausnopeutta pienentämällä. Kanavat toimitetaan työmaalle yleensä 3 m:n pituisina, jolloin niiden väliin asennettavan jatkoliittimen aiheuttama painehäviö tulisi myös huomioida. Koosta 315 alkaen ilmavaihtokanaviin tehdään vahvistusprofilointi, joka myös lisää sen aiheuttamaa painehäviötä. (3, s. 92.)

3.2 Ilmanvaihtokuilut

Kuilu on yhtenäinen pystysuora tila, johon sijoitetaan rakennuksen tarvitsemaa tekniikkaa. Mikäli kuilu on palo-osastoitu, sitä kutsutaan roiloksi. Ilmanvaihtokuilujen mitoituksen kannalta täytyy tietää kanavien lukumäärä, niiden koko ja ilmamäärä, joka kuilussa kulkee. Kuilujen koon ja muodon suunnittelussa tulee tietää sen sisältämien ilmanvaihtokanavien palvelemat alueet. Kuilujen suunnittelussa täytyy huomioida mahdolliset

palo-osastoinnit, jolloin paloeristeelle tulee jättää riittävästi tilaa. Usein ilmanvaihtokuilut ovat kuitenkin oma palo-osastonsa, jolloin paloeristystä ei tarvita. Tuloilmakanavien kohdalla tulee huomioida mahdollinen ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatteri, jolloin kanavat tulisi lämpö- ja kondenssieristää. Kanavien sijoittelussa kuiluun tulisi huomioida niiden palvelualueet, jotta risteäviä kanavia tulisi mahdollisimman vähän ja kanavistosta saataisiin mahdollisimman yksinkertainen ja suoraviivainen. (3, s. 372.)

Oleellista kuilujen suunnittelussa on ilmanvaihtokonehuoneiden määrä ja sijainti. Ilmanvaihtokonehuoneet tulisi pyrkiä sijoittamaan ylimpään kerrokseen, jotta vältetään pitkiltä ulko- ja jäteilmakanavilta. Mikäli ilmanvaihtokone joudutaan sijoittamaan sen palvelumiensa tilojen alapuolelle se tarkoittaa, että kuilujen tarve kasvaa merkittävästi, koska myös ulko- ja jäteilmakanavat täytyy kanavoida kuilujen kautta. (8, s. 185.)

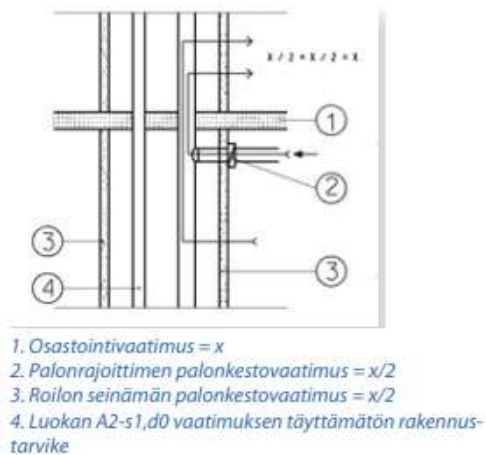
Ulkoilmakanavat täytyy johtaa vähintään 2 m korkeuteen maanpinnasta ja jäteilmakanavat vesikatolle. Mikäli jäteilma on poistoilmaluokkaa 1, se voidaan puhalttaa ulos myös rakennuksen seinästä. Jos ilmanvaihtokone sijaitsee kellarissa ja jäteilma sisältää poistoilmaluokkaa 1 likaisempaa ilmaa, jäteilmakanavat täytyy johtaa kuilun kautta koko rakennuksen läpi vesikatolle. Pitkät ulko- ja jäteilmakanavat lisäävät kanaviston painehäviötä, mikä kasvattaa ilmanvaihtokoneen SFP-lukua. (1.)

Ilmanvaihtokonehuoneet ja kuilut tulisi pyrkiä sijoittamaan keskeisille paikoille rakennukseen, jotta vältetään kanavien pitkiltä vaakavedoilta. Tällöin kanaviston kokonaispituus myös lyhenee. Rakennuksen muodolla on suuri merkitys siihen, minne ilmanvaihtokoneita ja kuiluja voidaan sijoittaa. Pystykuilujen tarpeen arviointiin on tehty taulukoita, nämä ovat kuitenkin melko vanhoja ja nykyisille kanavamitoituksille alimitoitettavia. (8, s. 187.)

Kuilujen tilavarausten määrittämisessä tulisi huomioida kanavien riittävät asennus- ja huoltotilat. Kuilujen määrää lisäämällä saadaan vähennettyä risteävien vaakakanavien määrää, jolloin kerrosten vapaata korkeutta saadaan lisättyä. Yleisesti käytettävä tapa on suunnitella rakennukseen roiloja, jolloin kuilujen kokoja saadaan pienennettyä, kun nousukanavia ei tarvitse paloeristää. Tällöin roilon palonkestävyys on oltava vähintään samaa tasoa kuin suurimman palonkestävyyden omaavalla kanavalla. (3, s. 372.)

Roilon seinämän kohdalla ilmanvaihtokanaviin täytyy asentaa palonrajoittimet. Palonkestovaatimukset palonrajoittimelle ja roilon seinämälle on esitetty kuvassa 2. Roilon

seinämän ja ilmanvaihtokanavaan asennetun palonrajoittimen palonkestovaatimus on puolet osastointivaatimuksesta. (9, s. 36.)



Kuva 2. Railon palonkestovaatimukset (9, s. 36).

Kuilut on suunniteltava siten, että kuilun sisältämä tekniikka päästään helposti huoltamaan ja puhdistamaan. Yleensä tämä toteutetaan asentamalla huoltotasot kuhunkin kerrokseen, johon käynti tapahtuu ovien kautta. Asentamalla mahdollisimman paljon tekniikkaa kuiluihin tarvittava alakattotila on usein pienempi. Mahdollisia kanavien risteilyjä voidaan myös tehdä kuiluissa, jotta vaakakanavistosta saadaan suoraviivaisempi. Kuilujen tilavarauksissa on otettava huomioon myös mahdollisten lisäysten ja muutosten vaatimat tilavaraukset. (3, s. 372.)

3.3 Ilmanvaihtokonehuoneet

Keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän koneet tulee sijoittaa paloteknisesti määräykset täyttävään konehuoneeseen, mikäli ne on sijoitettu rakennuksen sisäpuolelle ja ne voivat aiheuttaa palon leviämisvaaraa. P1-luokan rakennuksessa ilmanvaihtokonehuoneen osastointivaatimus on EI 60. Osastointivaatimus toteutetaan käyttämällä A2-s1, d0 -luokan rakennusosia. Konehuoneen ovelle palonkestovaatimus on puolet seinän palonkestojasta. (9, s. 38.)

Ilmanvaihtokonehuoneiden määrällä ja sijoittelulla voidaan vaikuttaa merkittävästi niiden vaatimiin tilavaraustarpeisiin ja ominaissähkötehoon. Suunnittelun alkuvaiheessa on tärkeää mitoittaa riittävän monta tarpeeksi suurta tilavarausta ilmanvaihdon konehuoneita varten. Konehuoneiden mitoitus täytyy tehdä hankkeen aikaisessa vaiheessa, joten ilmanvaihdon suunnittelijalla täytyy olla järjestelmien toteuttaminen ratkaistu jo aikaisessa vaiheessa. (10, s. 205.)

Hankesuunnitteluvaiheessa konehuoneiden vaatiman pinta-alan voidaan arvioida olevan n. 5–10 % koko rakennuksen pinta-alasta. Poikkeamat voivat kuitenkin olla suuria rakennustyyppistä riippuen. Konehuoneiden kokonaispinta-alaan vaikuttaa konehuoneiden lukumäärä sekä samanlaisten tilojen määrä ja sijainti. Jos tarvittavasta konehuoneen koosta ei olla varmoja, on varmempaa ylimitoittaa tilavaraus, koska tällöin konehuoneita on varaa tarvittaessa pienentää myöhemmin. Jos ilmanvaihtokonehuoneet on mitoitettu liian pieniksi, on niitä erittäin hankalaa enää kasvattaa hankkeen myöhemmissä vaiheissa. Tästä aiheutuu, että tavoiteltua energiatehokkuutta, ilmanvaihdon tehokkuutta ja joustavuutta ei välttämättä saavuteta. (3, s. 370.)

Konehuoneen muodolla on suuri merkitys sen vaatimaan pinta-alaan ja tilavuuteen. Konehuoneessa on oltava riittävästi korkeutta, jotta ilmanvaihtokokoneille ja kanaville on riittävästi tilaa. Konehuoneen vähimmäiskorkeus on yleensä 3,5 metriä, ja suuremmissa konehuoneissa korkeutta täytyy olla vähintään 4 metriä. Mahdollisimman pieni pinta-ala saavutetaan, kun konehuone on suorakaiteen muotoinen, ja sen lyhempi sivu on vähintään 4 metriä pitkä. (8, s. 187.)

Konehuoneet voidaan sijoittaa keskitetysti isoiksi tai hajallaan pienemmiksi konehuoneiksi. Ilmanvaihtokoneiden sijoittaminen keskitetysti suuriin konehuoneisiin tarkoittaa pidempiä matkoja ilmanvaihtokanaville, jolloin painehäviöt kasvavat ja vaadittuun SFP-lukuun pääseminen vaikeutuu. Ilmanvaihtokoneet pyritäänkin sijoittamaan mahdollisimman lähelle niiden palvelemissa tiloissa, jotta ilmanvaihtokanavistosta saadaan mahdollisimman lyhyt ja yksinkertainen. (8, s. 187.)

Ilmanvaihtokoneiden lukumäärä valitaan palveltavien tilojen mukaan. Käyttötarkoituksesta riippuen tiloilla on erilaisia palo- ja hygieniavaatimuksia ja käyttöaikoja. Tällaisille tiloille ei ole järkevää laittaa yhteistä ilmanvaihtokonetta, vaan yleensä yksi kone palvelee samantyyllisiä tiloja. Ilmanvaihtokoneiden määrä ja tilantarpeet tulee varmistaa aina tapauskohtaisesti. (10, s. 208.)

Konehuoneen korkeus määräytyy usein suurimman ilmanvaihtokoneen mukaan. Jos yksi kone on selvästi muita korkeampi, voidaan se korvata kahdella pienemmällä koneella tai siirtää tulo- ja poistoilmanvaihtokone vierekkäin, mutta tällöin joudutaan käyttämään nestekiertoista lämmöntalteenottoa. Ilmanvaihtokoneiden päälle tarvittava tila määräytyy ilmanvaihtokanavien koon ja risteävien kanavien määrän perusteella. Ilmanvaihtokoneiden vaatimaa korkeutta voidaan arvioida yhtälöillä 2 ja 3. (10, s. 208.)

$$A = \frac{2 \cdot qv}{1,2} \quad (2)$$

A on ilmanvaihtokoneen virtausala, m²

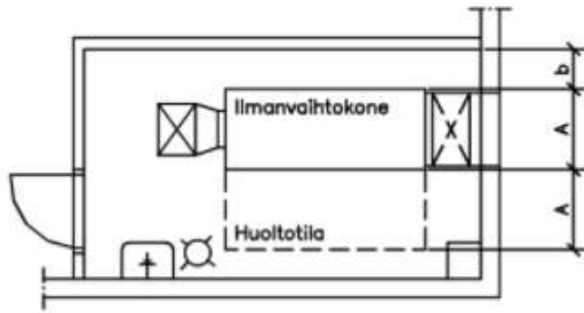
qv on ilmanvaihtokoneen virtaama, m³/s

$$H = \frac{A}{B} \quad (3)$$

H on ilmanvaihtokoneen korkeus, m

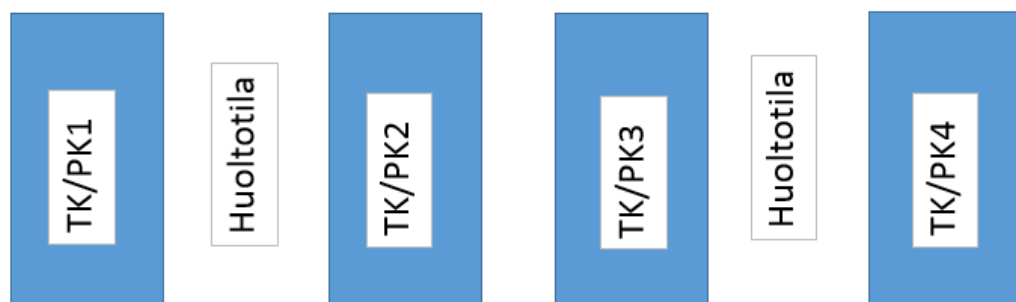
B on ilmanvaihtokoneen leveys, m

Ilmanvaihtokoneen sisältämät komponentit määräävät sen pituuden. Koneen molemmissa päädyissä on oltava tilaa n. 1 metrin pituisille kokoojalaatikoille. Ilmanvaihtokonehuoneen mitoituksessa tulee huomioda koneiden vaatimat huoltotilat, koneen edessä huoltotilan täytyy olla vähintään koneen levyinen sekä takana 0,4 kertaa koneen korkeuden verran, kuitenkin vähintään 600 mm. Kuvassa 3 on havainnollistettu ilmanvaihtokoneen tarvitsemat huoltotilat. (1.)



Kuva 3. Ilmanvaihtokoneen vaatiman huoltotilan sijoitus- ja mitoitus esimerkki. A on ilmanvaihtokoneen leveys ja B on 0,4 kertaa ilmanvaihtokoneen korkeus, kuitenkin vähintään 600 mm. (1).

Jos samassa konehuoneessa on useita koneita, ne kannattaa sijoittaa siten, että kahdella koneella on yhteinen huoltotila. Kuvassa 4 on esimerkki ilmanvaihtokoneiden sijoittelusta yhteisillä huoltotiloilla. Tällä tavalla konehuoneiden vaatimaa pinta-alaa saadaan pienennettyä selvästi. (10, s. 209.)



Kuva 4. Ilmanvaihtokoneiden sijoittelutapa, kun kahdella koneella on yhteinen huoltotila (10, s. 209).

Konehuone tulisi pyrkiä sijoittamaan mahdollisimman lähelle sen palvelemissa tiloissa. Siten vältetään pitkiltä kanavavedoilta ja suurilta kanaviston painehäviöiltä. Tällöin myös konehuoneen sisälle tarvitaan mahdollisimman vähän kanavia. Jos ilmanvaihtokone joudutaan sijoittamaan eri kerrokseen kuin sen palvelemat tilat, kanavat joudutaan viemään kuilujen kautta ja tilavarausten tarve kasvaa. Jos useasta ilmanvaihtokuilusta tulee kanavia samalle koneelle, tämä tarkoittaa yleensä, että kanavien määrä konehuoneen sisällä kasvaa, jolloin se täytyy huomioida konehuoneen mitoituksessa. (10, s. 210.)

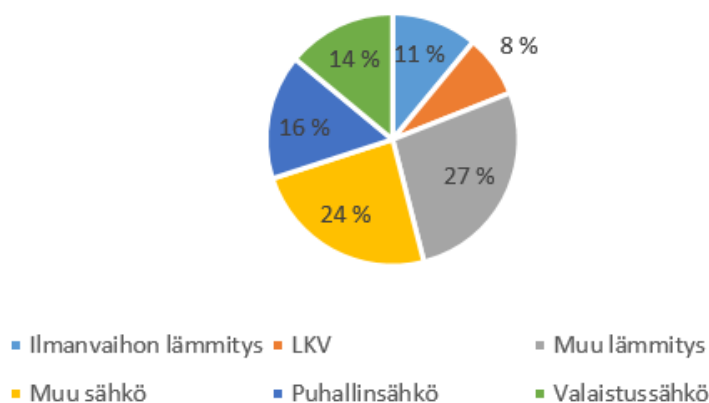
Käyttämällä kerroskohtaisia ilmanvaihtokoneita konehuoneiden määrä kasvaa, mutta ilmanvaihtokuilujen tarve pienenee, jolloin ilmanvaihtokuiluja tarvitaan ainoastaan jäteilman kuljettamiseksi vesikatolle sekä ulkoilmakanaville, jotka palvelevat kellarissa sijaitsevia ilmanvaihtokoneita. Käyttämällä kerroskohtaisia ilmanvaihtokoneita saadaan kanaviston aiheuttamaa painehäviötä pienennettyä, jolloin ilmanvaihtokoneelle jää käytettäväksi suurempi painehäviö ja tavoiteltavaan SFP-lukuun pääseminen helpottuu.

4 Ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuus

4.1 Ilmanvaihdon energian kulutus

Ilmanvaihdolla on merkittävä osuus rakennusten kokonaisenergiankulutukseen. Ilmanvaihtojärjestelmä tarvitsee lämmitys- ja jäähdytysenergiaa sekä sähköenergiaa. Kun pyritään parempiin sisäilmaolosuhteisiin, joudutaan kasvattamaan ilmavirtoja, mikä lisää ilmanvaihdon energiankulutusta. Ilmanvaihdon osuutta koko rakennuksen energiakulutukseen voidaan tarkastella kuvasta 5. Kuvasta nähdään, että tyypillisen toimistorakennuksen ilmanvaihdon lämmityksen osuus on 11 % ja puhallinsähkön osuus on 16 % koko rakennuksen energiankulutuksesta. (11, s. 8.)

Toimistorakennuksen energiankulutus



Kuva 5. Tyypillisen toimistorakennuksen energiankulutus (11, s. 8).

4.1.1 Ilmanvaihdon lämmitys

Ilmanvaihtojärjestelmän lämmityskustannuksia on saatu pienennettyä selvästi lämmöntalteenottolaitteiden avulla. Uusissa rakentamismääräyksissä on myös vaadittu parempia hyötysuhteita, mikä on pakottanut valmistajat kehittämään parempia laitteita. Tyypillisen toimistorakennuksen energiankulutus vuodessa on 208 kWh/m^2 , jos ilmanvaihtojärjestelmässä ei ole lämmöntalteenottoa. Mikäli rakennuksen ilmanvaihtoon lisätään lämmöntalteenotto, energiankulutusta saadaan pienennettyä 52 %, jolloin energiankulutus on ainoastaan 99 kWh/m^2 . Lisäämällä lämmöntalteenottolaite tyypilliseen toimistorakennukseen ilmanvaihdon lämmittämiseen kulutetun energian määrä pienenee 89 %. (11, s. 8.)

4.1.2 Ilmanvaihdon sähkönkulutus

Ilmanvaihdon sähkönkulutusta on pyritty pienentämään tiukentamalla ominaissähkötehon vaatimusta. Uusien vaatimusten myötä suunnittelijoiden on kiinnitettävä aiempaa enemmän huomiota kanavien mitoitukseen ja reititykseen sekä puhaltimien ja ilmanvaihtokoneiden valintaan. Usein tämä tarkoittaa, että on suunniteltava useampia ja pienempiä ilmanvaihtokoneita, jotta kanavistosta saadaan mahdollisimman lyhyt. Myös ilmanvaihtokoneiden rungon kokoa joudutaan kasvattamaan, jotta eri komponenttien otsapintanopeuksia ja painehäviöitä saadaan pienennettyä.

4.2 Ilmanvaihdon suunnittelu

Ilmanvaihdon suunnittelu aloitetaan määrittämällä koko rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmien yhteinen ominaissähkötehon tavoitearvo. Vuodesta 2018 uudisrakennusten ominaissähkötehon maksimi-arvo on $1,8 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Konekohtaiset SFP-luku määritykset tehdään tavoitearvon pohjalta. Kun ilmanvaihtokoneille määritetään SFP-luvut, samalla tulisi tehdä alustavat mitoitukset ilmanvaihtokoneiden ja kanavistojen tilavaraustarpeesta. Ilmanvaihtokonehuoneiden mitoituksessa täytyy huomioida koneiden vaatimat huoltotilat. (12, s. 78.)

Seuraavassa vaiheessa mitoitetaan ilmanvaihtokoneet valittujen SFP-lukujen avulla ja tutkitaan, minkälaisilla vaihtoehdoilla ja koneyhdistelmillä päästään tavoiteltuun ominaissähkötehon arvoon. Ilmanvaihtokoneiden mitoitusta joudutaan tarvittaessa tarkentamaan myöhemmin, mikäli asetetut tavoitteet eivät täyty. (12, s. 79.)

Kun alustavat ilmanvaihtokonemitoitukset on tehty, määritetään kanavistolle jäävä painehäviö. Tässä vaiheessa tulee kiinnittää huomiota ilmanvaihtokoneen liittämiseen kanavistoon. Ilmanvaihtokoneen ja kanaviston liitostapoja on esitetty kuvassa 6. Huonosti tehty ilmanvaihtokoneen ja kanaviston liitos voi aiheuttaa niin suuren painehäviön, että vaadittuun SFP-lukuun pääseminen muodostuu erittäin haastavaksi. Erilaisten liitostapojen painehäviötä voi arvioida valmistajien ohjelmilla, jotka perustuvat mittaustuloksiin. (12, s. 79.)

<p>Kun ilmanvaihtokoneen puhallin valitaan ja mitoitetaan kanavaliitännäisenä, laskee mitoitusohjelma liitännähäviön käyttäen tiettyä, puhaltimen liittyvää kanavakokoa. Asennuksessa tulee noudattaa puhaltimen valmistajan suositusta kanavakoon ja esteettömän pituuden suhteen.</p>	<p>Kun ilmanvaihtokoneen puhallin mitoitetaan samaan tuotesarjaan kuuluvan äänenvaimentimen kanssa, ottaa mitoitusohjelma automaattisesti huomioon tarvittavat painehäviökorjaukset. Vaimentimen jälkeen ilman nopeus on niin tasainen, että liitännätavalla ei ole käytännön merkitystä.</p>
<p>Mikäli puhaltimen paineaukko liitetään käyrään, joka kääntyy väärään suuntaan puhaltimen pyörimissuuntaan nähden, aiheutuu tästä suuri liitännähäviö, koska puhaltimesta suurella nopeudella tuleva ilmavirta joutuu vaihtamaan suuntaa pienessä tilassa.</p>	<p>Kun käyrä kääntyy samaan suuntaan puhaltimen pyörimissuunnan kanssa, saadaan virtausteknisesti edullinen liitäntä. Puhaltimen pyörimissuunta tuleekin mahdollisuuksien mukaan aina valita tämän tapauksen mukaisesti.</p>
<p>Kanavan laajentaminen jyrkällä 'diffusorilla' ei ole suositeltavaa. Kanavaliitännässä pitää kanavan yläreunan jatkua suoraan pitkin puhaltimen ulospuhallusaukon yläreunaa. Vaihtoehtoisesti kanavan pitää olla kaukana puhallusaukon yläreunasta (= puhallus kammioon -tilanne).</p>	<p>Mikäli puhaltimen painepuoli on liitetty kammioon, josta lähtee kanavaliitäntöjä eri suuntiin, joudutaan ejektorivaikutuksen takia kuristamaan eteenpäin lähtevää kanavaa kohtuuttoman paljon, jotta ilma saataisi menemään ylöspäin olevaan liitäntään.</p>
<p>Puhaltimen paineaukkoon ei ilman suojaetäisyyttä pidä asentaa mitään osia, kuten esimerkiksi säleplettiä. Sälepletti estää virtauksen tasaantumisen ja aiheuttaa näin suuren törmäyshäviön. Samalla pelti joutuu voimakkaasti pyörittelevään ilmavirtaan, jolloin sen elinikä lyhenee ratkaisevasti.</p>	<p>Lian pieni kanavakoko puhaltimen jälkeisessä käyrässä aiheuttaa voimakkaan törmäyshäviön ja virtaushäiriön. Tällöin puhaltimen ilmavirta tulee epästabiiliksi eli puhallin alkaa 'pumpata'. Puhallin pitää voimakasta ääntä ja vaurioituu ennen pitkää. Kanavamitoissa pitää noudattaa valmistajan ohjeita.</p>

Kuva 6. Puhaltimen ja kanaviston erilaisia liitostapoja (6, s. 15).

Ilmanvaihtojärjestelmästä saadaan energiatehokkaampi lisäämällä sen tarpeenmukaisuutta. Tarpeenmukaista ilmanvaihtoa suunniteltaessa tulee ilmanvaihtokoneen valinnassa kiinnittää huomiota sen säätöalueeseen. Ilmanvaihtokoneen tulee toimia suunnitellusti myös osateholla. Tyypillisessä toimistorakennuksessa riittävä säätöalue on 50–100 %, mutta joissain tilanteissa voidaan joutua käyttämään myös 15–30 %:n tehoja. Puhaltimen pyörimisnopeutta säätämällä pyritään pitämään kanaviston staattinen paine matalana, jolloin sähköenergiankulutusta saadaan pienennettyä. Puhaltimen pyörimisnopeutta säädetään painesäätimellä, jonka avulla saadaan kanaviston staattinen paine pidettynä vakiona suhteessa rakennuksessa olevaan paineeseen. (12, s. 61.)

Tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän kanavistosta pyritään saamaan painehäviöltään mahdollisimman symmetrinen, jolloin järjestelmästä saadaan mahdollisimman helposti säädettävä. Kanavisto tulisi mitoittaa väljäksi, jotta käytävissä olevasta painehäviöstä mahdollisimman suuri osa saataisiin säätölaitteille. Jotta tarpeenmukainen ilmanvaihtojärjestelmä toimii suunnitellusti, tulee paineensäätöanturi sijoittaa oikein. Mikäli kanavisto on painehäviöiltään täysin symmetrinen, voidaan paineensäätöanturi sijoittaa vapaasti, mutta kanavistojen epäsymmetrisyyden vuoksi anturin paikka täytyy miettiä tapauskohtaisesti. (12, s. 62.)

Kun kaikkien yksittäisten ilmanvaihtojärjestelmien painehäviöt ja puhaltimien ottotehot on saatu määritettyä, lasketaan koko rakennuksen kaikkien ilmanvaihtojärjestelmien yhteinen ominaissähköteho. Mikäli tavoiteltuihin arvoihin ei päästä, palataan suunnittelun vaiheissa takaisin ja tehdään tarvittavat muutokset esim. ilmanvaihtokoneiden kokoon tai puhaltimen valintaan. (12, s. 79.)

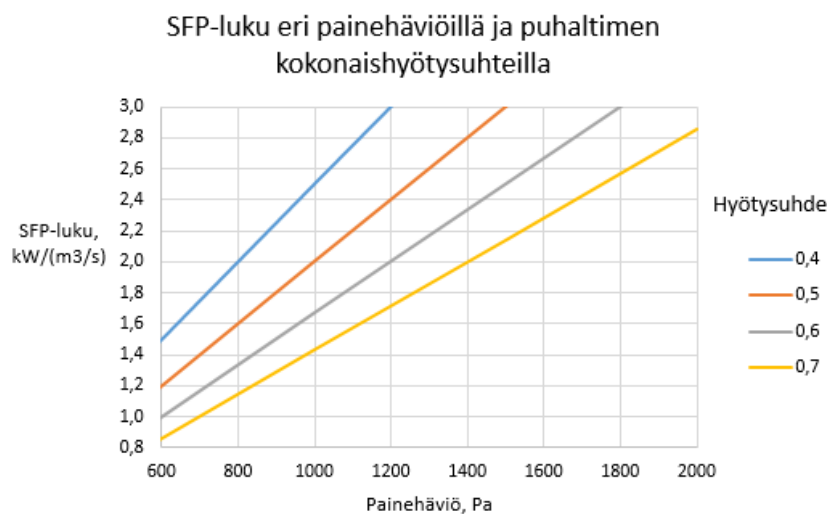
5 Ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuuden parantaminen

5.1 Toimenpiteet

Ilmanvaihtojärjestelmän peruskorjaustilanteessa usein pyritään myös parantamaan sen energiatehokkuutta. Saneerauskohteen tilavarauksia ei pystytä kovin paljon kasvattamaan. Sen vuoksi on tärkeää, että alkuperäisissä suunnitelmissa on huomioitu mahdolliset muuntojousto ja korjaustarpeet. Ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuutta voi-

daan parantaa vähentämällä sähkönkulutusta ja pienentämällä lämmitys- ja jäähdytysenergian tarvetta. Tässä työssä keskitytään ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutuksen vähentämiseen.

Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutusta kuvaa SFP-luku. Ilmanvaihtojärjestelmän SFP-lukuun voidaan vaikuttaa painehäviöitä pienentämällä ja ilmanvaihtokoneen puhaltimen kokonaishyötysuhdetta parantamalla. Hyötysuhteiden ja painehäviöiden vaikutusta SFP-lukuun on havainnollistettu kuvassa 7.



Kuva 7. Puhaltimen kokonaishyötysuhteen ja painehäviöiden vaikutus SFP-lukuun (3, s. 107).

Helpoin tapa pienentää painehäviöitä on pienentää ilmavirtoja, mutta tämä ei ole toivottavaa, koska silloin myös ilmanlaatu heikkenee. Ilmanvaihtojärjestelmän ilmavirtoja voidaan pienentää lisäämällä järjestelmän tarpeenmukaisuutta ja säädettävyyttä. Tällöin voidaan tiloihin johtaa pienemmät ilmavirrat silloin, kun niissä ei ole käyttöä. Siten ilmanlaatu pysyy hyvänä oleskeltavissa tiloissa. Myös verkoston uudelleen tasapainottamisella voidaan vähentää puhaltimen sähköenergiankulutusta, kun mihinkään tiloihin ei johdeta turhaan liian suurta ilmamäärää.

Ilmanvaihtojärjestelmän painehäviöt voidaan jakaa ilmanvaihtokoneen sisäiseen ja ulkoiseen painehäviöön. Ilmanvaihtokoneen ulkoisella painehäviöllä tarkoitetaan kanaviston ja sen kaikkien osien aiheuttamaa painehäviötä. Ilmanvaihtokoneen sisäiseen painehäviöön lasketaan summa kaikista sen komponenttien aiheuttamista painehäviöistä.

Ilmanvaihtokoneen sisäisiin painehäviöihin voidaan vaikuttaa ilmanvaihtokoneen koolla, jolloin ilmanvaihtokoneen komponenttien otsapintanopeuksia ja painehäviöitä saadaan pienennettyä. Ilmanvaihtokoneen otsapintanopeuden suurin sallittu arvo on 1,6 m/s. Ilmanvaihtokonehuoneen mitoitukselta riippuen ilmanvaihtokoneen koon kasvattaminen ei välttämättä onnistu. Mikäli saneerauskohteissa ei tilanpuutteen vuoksi saavuteta nopeutta 1,6 m/s, voidaan otsapintanopeuden suurimmaksi arvoksi sallia 2 m/s. (13, s. 10.)

Ilmanvaihtokoneen mitoituksessa tulee kiinnittää huomiota sen komponenttien otsapintanopeuksiin. Otsapintanopeuksia pienentämällä saadaan koneen aiheuttamaa painehäviötä pienennettyä, mutta tällöin koneen koko kasvaa. Lisäksi mitoituksessa on tärkeää huomioida ilmanvaihtokoneen ja ilmanvaihtokanaviston liitoksessa syntyvä painehäviö. Liitoksen painehäviöön voidaan vaikuttaa asennustavalla. Jos liitoksesta aiheutuu yllättäviä painehäviöitä ja ne kompensoidaan puhaltimen pyörimisnopeutta kasvattamalla, tästä aiheutuu suuri sähkötehon kasvu. Tämä johtuu siitä, että puhaltimen sähköteho on verrannollinen pyörimisnopeuden kolmanteen potenssiin. Uusi sähköteho voidaan laskea yhtälöllä 4. (3, s. 156.)

$$P = \left(\frac{n}{n_0}\right)^3 * P_0 \quad (4)$$

P on uusi sähköteho, kW

P₀ on vanha sähköteho, kW

n on uusi pyörimisnopeus, 1/min

n₀ on vanha pyörimisnopeus, 1/min

Ilmanvaihtokanaviston painehäviöön voidaan vaikuttaa sen mitoituksella ja reitityksellä. Kanavien mitoitukseen ja reitityksiin on kuitenkin erittäin hankala tehdä suuria muutoksia peruskorjauksen yhteydessä ilman, että luodaan kokonaan uusia kanavareittejä, mikä ei välttämättä ole mahdollista. Uusien ilmanvaihtokuilujen teossa on huomioitava, että kuilujen vaatima pinta-ala pienentää sitä ympäröiviä tiloja. Mikäli uusien kanavareittien teko ei ole mahdollista ja joudutaan käyttämään vanhoja kanavareittejä, kanaviston painehäviöiden pienentämiseksi voidaan säätää ja tasapainottaa ilmanvaihtojärjestelmän ilmamääriä.

Ilmanvaihtokoneen puhaltimen kokonaishyötysuhdetta parantamalla voidaan myös saada SFP-lukua pienemmäksi. Puhaltimen kokonaishyötysuhde koostuu voimansiirron hyötysuhteesta, moottorin hyötysuhteesta, pyörimisnopeuden säädön hyötysuhteesta ja puhaltimen hyötysuhteesta. (6, s. 21.)

Puhaltimen hyötysuhde kertoo, kuinka paljon puhaltimen akselille tuodusta tehosta siirtyy ilmapirtaan. Puhaltimen hyötysuhde asennettuna saattaa poiketa käyrästöstä lue-
tusta arvosta, koska asennuspaikan ahtaus heikentää hyötysuhdetta. Puhaltimen hyötysuhde on yleensä n. 65–85 %. (6, s. 21.)

Voimansiirron hyötysuhteessa huomioidaan mm. hihnojen käytöstä aiheutuvat häviöt. Yli 3 kW:n teholla hihnakäytön hyötysuhde on n. 95 %, mutta tehon pienentyessä myös hyötysuhde huononee. Hihnojen kulumisen vuoksi ne täytyy vaihtaa säännöllisesti uusiin. (3, s. 151.)

Moottorin hyötysuhde kertoo, kuinka paljon sähkömoottorin ottotehosta saadaan siirrettyä moottorin akselille ja pyörimisnopeuden säädön hyötysuhde kertoo mahdollisen taa-
juusmuuttajan hyötysuhteen. Näiden neljän eri hyötysuhteen tulo on puhaltimen kokonaishyötysuhde, jota parantamalla voidaan parantaa myös ilmanvaihtokoneen SFP-lukua. (6, s. 21.)

Puhaltimen oikealla mitoituksella pystytään parantamaan sen tehontuottoa sekä hyötysuhdetta. Yleensä ilmanvaihtojärjestelmissä käytetään kammiopuhaltimia tai kaavullisia radiaalipuhaltimia. Kammiopuhaltimessa ei ole puhallinkaapua, minkä vuoksi sillä ei pystytä hyödyntämään kaavun aiheuttamaa staattisen paineen nousua. Kammiopuhaltimen rakenne muodostaa laajenevan diffusorin, jolla saadaan paikattua kaavun puuttumisesta aiheutuvaa hyötysuhteen laskua. Virtaavan ilman nopeus pienenee kammiossa, minkä ansiosta seuraavan osan voi sijoittaa lähelle puhallinta, ilman suurta painehäviötä. (10, s. 176.)

Kammiopuhaltimen puhallinpyörä asennetaan suoraan moottorin akselille, jolloin erillistä moottorin hihnaa ei tarvita eikä siitä aiheudu häviöitä. Tämän vuoksi kammiopuhaltimesta on tullut käytetyin puhallintyyppi ilmanvaihtokoneissa. Puhaltimen suorakäyttöisyys helpottaa sen tasapainottamista, jonka ansiosta puhaltimen aiheuttamat värinät vähenevät. Kammiopuhaltimelle on asennettava myös taajuusmuuttaja, jotta ilmavirtoja voidaan säätää portaattomasti. Kammiopuhallin soveltuu hyvin ilmavirroille alle $10 \text{ m}^3/\text{s}$, mutta sitä suuremmille ilmavirroille joudutaan käyttämään rinnakkaisia puhaltimia. Kammiopuhaltimen vaatima suojaetäisyys painepuolella on pieni, jonka ansiosta sen pystyy helpommin asentamaan myös ahtaampiin konehuoneisiin ilman ylimääräisiä painehäviöitä. Kammiopuhaltimella suurin saavutettava hyötysuhde on n. 77 %. (10, s. 176.)

Ennen kammiopuhaltimen yleistymistä ilmanvaihtokoneissa käytettiin yleisesti kaavullisia radiaalipuhaltimia. Kaavullisen radiaalipuhaltimen kaapu toimii diffusorina, jolloin ilmavirran nopeus saadaan muutettua staattiseksi paineeksi. Kaavun ansiosta puhaltimella on mahdollista saavuttaa korkea hyötysuhde. Puhaltimella joudutaan kuitenkin käyttämään erillistä hihnakäyttöistä moottoria, jonka kuluminen lisää puhaltimen huoltotarvetta ja vähentää ilmanvaihtokoneen hygieenisyyttä. Kaavullisilla radiaalipuhaltimilla voidaan saavuttaa n. 85 %:n hyötysuhde. Hihnan käyttäminen heikentää hyötysuhdetta, mutta suurilla ilmavirroilla hihnakäytön hyötysuhde on n. 95 %. Puhallintyyppi soveltuu kaikille ilmavirroille, mutta isommilla koneilla saavutetaan paremmat hyötysuhteet. Kaavullisen radiaalipuhaltimen ja kammiopuhaltimen ominaisuuksia on lueteltu taulukossa 3. (10, s. 177.)

Taulukko 3. Kammiopuhaltimen ja kaavullisen radiaalipuhaltimen ominaisuuksia (10, s. 177).

	Kammiopuhallin	Kaavullinen radiaalipuhallin
Hyötysuhde	Maksimi n. 77 %	Maksimi n. 85 %
Ilmavirta alle 10 m ³	Soveltuu	Soveltuu
Ilmavirta yli 10 m ³	Soveltuu huonosti, usean puhaltimen rinnan käyttö tarpeellista.	Soveltuu. Hyötysuhde kasvaa koon mukana.
Tärinän tasapainotus	Vähäinen tärinä. Tarkka tasapainotus myös erikoiskohteissa.	Enemmän tärinää. Hihnakäyttö vaikeuttaa tasapainotusta.
Asennustila	Kompakti asennus. Ei suojaetäisyyden tarvetta painepuolella.	Painepuolella suuri ilmamanopeus, jonka vuoksi tarvitaan suojaetäisyys.
Huolto	Vähäinen tarve suorakäyttöisyyden ansiosta.	Hihnakäyttö vaatii huoltoa.
Hygieenisyys	Hygieeninen, helppo puhdistaa	Hihnasta irtoaa kumipölyä. Kaavun takia vaikea puhdistaa.
Moottorin valinta ja vaihto	Puhallinpyörä ja moottorikoko sidottuja toisiinsa. Taajuusmuuttaja välttämätön.	Moottori voidaan valita vapaasti. Voidaan käyttää ilman taajuusmuuttajaa.
Taajuusmuuttajan ohitus vikatilanteessa	Hankalaa, suoraan verkosta tuleva 50 Hz:n taajuus soveltuu huonosti puhaltimen käyntitaajuudeksi.	Helppoa. Moottori pyörii lähellä 50 Hz myös mitoittavassa toimintapisteessä.

Ilmanvaihtokoneissa käytettyjen puhaltimien tyyppejä ovat aksiaali-, radiaali- ja sekavirtauspuhallin. Aksiaali- tai radiaalipuhallinta käytettäessä joudutaan yleensä valitsemaan paineenkorotuksen ja laajan ilmavirta-alueen väliltä. Aksiaalipuhalltimella saavutetaan laaja ilmavirta-alue, mutta paineenkorotus jää pieneksi. Radiaalipuhalltimessa ominaisuudet ovat päinvastoin. Sekavirtauspuhalltimella on pyritty yhdistämään laaja ilmavirta-alue sekä korkea paineenkorotus. Pienempään SFP-lukuun pyrittäessä joudutaan pienentämään myös ilmanvaihtokoneen sekä kanaviston aiheuttamaa painehäviötä, jolloin myös puhaltimelta vaaditaan pienempi paineenkorotus. Tämän ansiosta puhaltimen valinnassa voidaan keskittyä ilmavirta-alueen kasvattamiseen. (14, s. 9.)

5.2 SFP-luvun parantaminen

Esimerkkinä käytetään ilmanvaihtokonetta, jonka SFP-luku on 2,5 kW/(m³/s). Tulo- ja poistoilmavirrat ovat 2 m³/s ja ilmanvaihtokoneen ottoteho on 5 kW. Tulo- ja poistoilmanvaihtokoneiden kanavistojen painehäviöt ovat 300 Pa ja ilmanvaihtokoneiden painehäviöt ovat 450 Pa. Tällöin puhaltimien kokonaishyötysuhteeksi saadaan 60 %. Ilmanvaihtokoneesta pyritään saamaan nykymääräysten mukainen jolloin SFP-luku saa olla enimmillään 1,8 kW/(m³/s).

5.2.1 Puhaltimen kokonaishyötysuhteen parantaminen

Tilanteessa, jossa ilmanvaihtokoneen tai kanaviston kokoa ei pystytä kasvattamaan eli painehäviö pysyy samana, SFP-luvun parantaminen täytyy tehdä puhaltimen kokonaishyötysuhdetta parantamalla. Tarvittava puhaltimen kokonaishyötysuhde voidaan laskea yhtälöllä 5. (6, s. 20.)

$$\eta_2 = \frac{SFP_1}{SFP_2} * \eta_1 \quad (5)$$

η_1 on vanha puhaltimen kokonaishyötysuhde

η_2 on uusi puhaltimen kokonaishyötysuhde

SFP1 on vanha ilmanvaihtokoneen SFP-luku, kW/(m³/s)

SFP2 on uusi ilmanvaihtokoneen SFP-luku, kW/(m³/s)

Esimerkin arvoilla hyötysuhteen pitäisi olla 83,3 %, jotta päästäisiin haluttuun SFP-lukuun. Kammiopuhallinta käytettäessä ei saavuteta näin suuria hyötysuhteita, jolloin joudutaan joustamaan tavoitellusta SFP-luvusta tai vaihtamaan toisenlainen puhallin, mikä voi aiheuttaa muutostarpeita koneen ja kanaviston liitokselle ja puhaltimen tarvitsemalle suojaetäisyydelle.

Vanhan kohteen saneerauksessa voidaan hyväksyä SFP-luvun arvoksi myös $2 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$, mikäli $1,8 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ arvoa ei saavuteta. Tällöin esimerkin mukaisilla arvoilla hyötysuhteen tulisi olla 75 %, jotta saavutetaan riittävän pieni SFP-luku.

Hyötysuhdetta voidaan parantaa vaihtamalla vanhan puhaltimen tilalle uusi paremman hyötysuhteen omaava laite. Lisäksi on syytä varmistaa, että käytössä oleva puhallin toimii sille suunnitellussa toimintapisteessä. Puhaltimen toimintapiste riippuu ilmavirrasta ja paineen korotuksesta. Mikäli ilmanvaihtokoneen tai kanaviston painehäviö on laskettu väärin tai asennukset eivät ole suunnitelmien mukaisia, muuttuu puhaltimen toimintapiste. Pyörimisnopeutta muuttamalla saavutetaan suunniteltu ilmavirta puhaltimella, mutta tällöin myös puhaltimen hyötysuhde muuttuu. (3, s. 160.)

Mikäli käytetään taajuusmuuttajaa, moottorin mitoituksessa on hyvä käyttää 45–75 Hz:n taajuusalueita. Tämä taajuusalue on optimaalinen taajuusmuuttajan hyötysuhteen kannalta. Paras hyötysuhde saavutetaan n. 65 Hz:n taajuudella, jolloin taajuusmuuttajan hyötysuhde on n. 97 %. Taajuusmuuttajaa voidaan käyttää myös muilla taajuuksilla, mutta tällöin sen hyötysuhde huononee. (3, s. 173.)

5.2.2 Kanavakokojen suurentaminen

Tilanteessa jossa SFP-lukua pyritään pienentämään ainoastaan kanavakokoja kasvatamalla, voidaan kanavistolle käytettäväksi jäävä painehäviö laskea yhtälöllä 6 (6, s. 20).

$$\Delta p_{\text{kanavisto}} = \frac{SFP_2 \cdot \Delta p_1}{SFP_1} - \Delta p_{IV} \quad (6)$$

$\Delta p_{\text{kanavisto}}$ on uusi kanavistolle jäävä painehäviö, Pa

SFP_2 on uusi ilmanvaihtokoneen SFP-luku, $\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$

Δp_1 on vanha puhaltimen paineenkorotus, Pa

SFP_1 on vanha ilmanvaihtokoneen SFP-luku, $\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$

Δp_{IV} on ilmanvaihtokoneen aiheuttama painehäviö, Pa

Esimerkin tiedoilla kanavistolle jäisi käytettäväksi 90 Pa. Vaihtamalla kaikki kanavat yhden kokoluokan suuremmiksi kanaviston aiheuttama painehäviö pienenee n. 65–70 %. Kanavakokojen kasvattamisen vaikutuksesta virtausnopeuteen ja painehäviöön on esitetty esimerkki kuvassa 8.

kanavakoko	virtaama l/s	virtausnopeus m/s	Painehäviö Pa
315	230	3,0	300
400	230	1,8	87

Kuva 8. Kanavakoon kasvattamisen vaikutus virtausnopeuteen ja painehäviöön.

Kanavakokoja kasvattamalla yhden koon suuremmiksi kanaviston painehäviö olisi 87 Pa, ja vaadittuun SFP-lukuun päästäisiin. Kanavien kasvattaminen yhden koon suuremmiksi tarkoittaisi, että niiden vaatimat tilavaraukset kasvaisivat n. 50–60 %.

Mikäli 50 % kanavistosta on vaihdettavissa yhden koon suuremmaksi, voidaan sen vaikutusta painehäviöön tarkastella kuvasta 9.

kanavan koko	virtaama l/s	Painehäviö Pa/m	virtausnopeus m/s	Painehäviö Pa	Tilavuus m ³
315	230	0,3	3,0	300	77,54148
315	230	0,3	3,0	150	38,77074
400	230	0,1	1,8	43	62,51769
			Yht.	193	101,2884
			Muutos	-36 %	31 %

Kuva 9. Kanaviston painehäviö ja tilavuus, kun 50 % vaihdetaan kokoluokkaa suuremmaksi.

Kuvasta nähdään, että vaihtamalla 50 % kanavista yhden koon suuremmiksi kanaviston aiheuttama painehäviö pienenee 36 % ja tilavuus kasvaa 31 %. Näillä muutoksilla säästettävä SFP-luku olisi 2,14 kW/(m³/s).

5.2.3 Ilmanvaihtokoneen uusiminen

Recair-mitoitusohjelmalla tehtyjen ilmanvaihtokonemitoitusten perusteella ilmanvaihtokoneen kasvattaminen koosta 3B kokoon 4B, pienentää koneen SFP-lukua arvosta 2,41 kW/(m³/s) arvoon 1,72 kW/(m³/s). Tällöin ilmanvaihtokoneen SFP-luku saadaan pienennettyä uusien rakentamismääräysten mukaiseksi. Ilmanvaihtokoneen kasvattamisen vaikutuksia voidaan tarkastella taulukoista 4 ja 5. (15.)

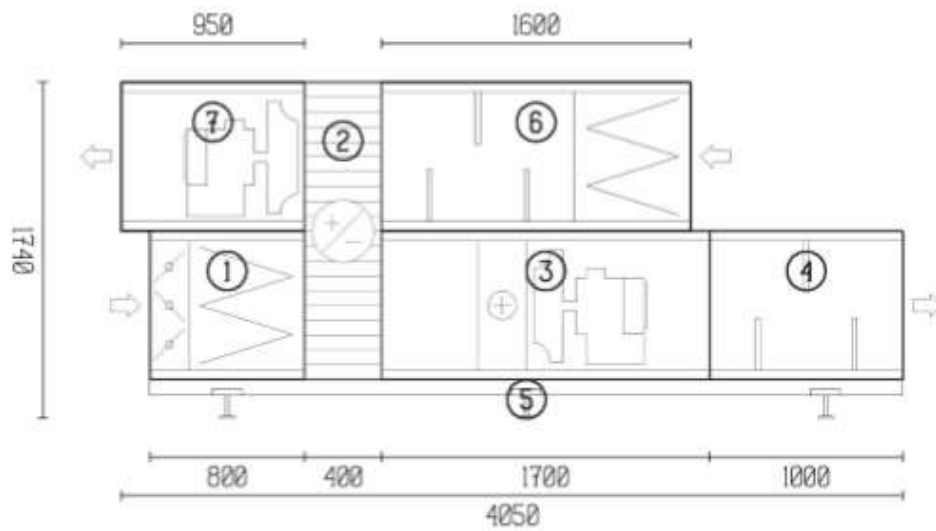
Taulukko 4. Ilmanvaihtokoneen 3B mitoitustulokset (15).

	Tulokone		Poistokone	
	Palakone 3B		Palakone 3B	
Konekoko	2.00	m ³ /s	2.00	m ³ /s
Ilmavirta	300	Pa	300	Pa
Koneen ulkopuolinen staattinen painehäviö	2.91	kW	2.29	kW
Moottoriteho verkosta	3.7	m/s		
Patterin otsapintanopeus	3.5	m/s	3.5	m/s
Koneen otsapintanopeus	2.41	kW/(m ³ /s)		
SFP, ominaistehontarve	0.69	kW/(m ³ /s)		
SFPint laskettu	1.19	kW/(m ³ /s)		
SFPint, Ekodesignin vaatimus 2016	0.91	kW/(m ³ /s)		
SFPint, Ekodesignin vaatimus 2018	308 / 215	Pa		
dPint laskettu	77	%		
LTO %, Ekodesign laskettu				

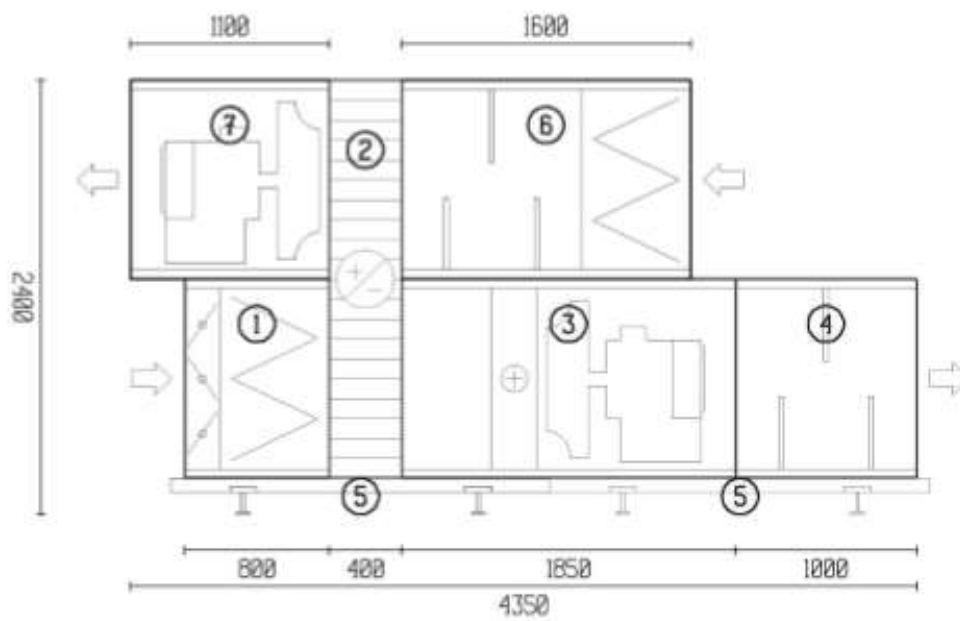
Taulukko 5. Ilmanvaihtokoneen 4B mitoitustulokset (15).

	Tulokone		Poistokone	
	Palakone 4B		Palakone 4B	
Konekoko	2.00	m ³ /s	2.00	m ³ /s
Ilmavirta	300	Pa	300	Pa
Koneen ulkopuolinen staattinen painehäviö	2.00	kW	1.59	kW
Moottoriteho verkosta	2.3	m/s		
Patterin otsapintanopeus	2.3	m/s	2.3	m/s
Koneen otsapintanopeus	1.72	kW/(m ³ /s)		
SFP, ominaistehontarve	0.47	kW/(m ³ /s)		
SFPint laskettu	1.22	kW/(m ³ /s)		
SFPint, Ekodesignin vaatimus 2016	0.94	kW/(m ³ /s)		
SFPint, Ekodesignin vaatimus 2018	218 / 166	Pa		
dPint laskettu	78	%		
LTO %, Ekodesign laskettu				

Jos ilmanvaihtojärjestelmän SFP-lukua pyritään parantamaan vaihtamalla vanhan ilmanvaihtokoneen tilalle suurempi kone, tämä tarkoittaisi esimerkkitapauksessa, että kyseisillä konevalinnoilla ilmanvaihtokoneen vaatima pinta-ala kasvaisi 7,5 %, korkeus kasvaisi 38 % ja koneen tilavuus kasvaisi 48 %. Ilmanvaihtokoneiden mittoja voidaan tarkastella kuvista 10 ja 11. (15.)



Kuva 10. Ilmanvaihtokoneen 3B sivuprofiili (15).



Kuva 11. Ilmanvaihtokoneen 4B sivuprofiili (15).

6 Tilavarausten mitoittaminen

6.1 Johdanto

Ilmanvaihtokuilujen ja -konehuoneiden mitoittamiseen on valmiita taulukoita. Taulukot ovat kuitenkin vanhoja. Tässä esimerkissä mitoitetaan yksinkertainen ilmanvaihtokuilu sekä ilmanvaihtokonehuone käyttämällä LVI 06-10105 -ohjekortin taulukoita sekä suunniteltujen kohteiden pohjalta luotua mitoitus työkalua.

6.2 Ilmanvaihtokuilut

Esimerkissä mitoitetaan ilmanvaihtokuilu, johon tulee:

2*500 mm kanavaa. Virtaama 0,7 m³/s.

2*630 mm kanavaa. Virtaama 1,3 m³/s.

2*800 mm kanavaa. Virtaama 3 m³/s.

2*1000 mm kanavaa. Virtaama 5 m³/s.

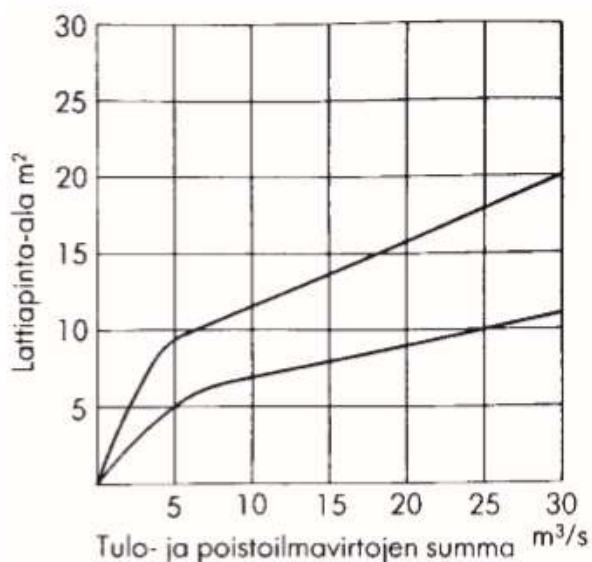
Jokaista kanavakokoa on tulo- ja poistoilmakanava. Tulokanavassa on 50 mm:n paksuinen lämpöeriste. Ilmanvaihtokanavien virtaamat ja pinta-alat on laskettu kuvassa 12. Kuvasta nähdään myös lämpöeristeen vaikutus kanavan pinta-alaan.

	Tuloilmavirta m ³ /s	Poistoilmavirta m ³ /s	Kokonaisilmavirta m ³ /s	Virtausnopeus m/s	du tulo mm	du poisto mm	A tulo m ²	A poisto m ²	A yht. m ²
2*500	0,7	0,7	1,4	3,6	600	500	0,28	0,20	0,48
2*630	1,3	1,3	2,6	4,2	730	630	0,42	0,31	0,73
2*800	3	3	6	6	900	800	0,64	0,50	1,14
2*1000	5	5	10	6,4	1100	1000	0,95	0,79	1,74
		Ilmavirrat yht.	20	m ³ /s		Kanavien pinta-ala		4,1	m ²

Kuva 12. Ilmanvaihtokanavien virtaamien ja pinta-alojen summa.

6.2.1 LVI 06-10105

LVI 06-10105 -ohjekortissa on kuvaaja ilmanvaihtokuilujen mitoittamiseen. Tätä kuvaajaa voidaan tarkastella kuvasta 13.



Kuva 13. Ilmanvaihtokuilun pinta-alan mitoittaminen (16, s. 4).

Kuvan 13 mukaan $20 \text{ m}^3/\text{s}$ ilmavirralla mitoittamalla kuilun pinta-alaksi tulee $9\text{--}16 \text{ m}^2$ riippuen siitä, käytetäänkö alempaa vai ylem্পää viivaa. Kuilun vaatima pinta-ala riippuu ilmavirran lisäksi mm. kanavakoosta, käytettävistä eristepaksuuksista sekä risteävien kanavien määrästä. LVI 06-10105 on laadittu vuonna 1988. Nykyään käytettävien rakentamismääräysten vuoksi on suositeltavaa käyttää taulukon ylem্পää viivaa kuilujen tilantarvetta arvioitaessa. Tällöin esimerkkitoteutuksen kuilun pinta-alaksi tulisi 16 m^2 , joka on ilmavirtaan suhteutettuna $0,8 \text{ m}^2/(\text{m}^3/\text{s})$.

6.2.2 Mitoitustyökalu

6.2.2.1 Ilmamäärän mukaan

Ilmanvaihtokuilun mitoittaminen ilmamäärän mukaan on esitetty kuvassa 14.

Ilmamäärä m^3/s	20
Kuilun pinta-ala m^2	18,4

Kuva 14. Ilmanvaihtokuilun mitoittaminen virtaaman perusteella.

Virtaamalla $20 \text{ m}^3/\text{s}$ mitoitustyökalu antaa kuilun pinta-alaksi $18,4 \text{ m}^2$. Tämä on ilmamäärään suhteutettuna $0,92 \text{ m}^2/(\text{m}^3/\text{s})$.

6.2.2.2 Kanavien pinta-alan mukaan

Esimerkin mukaisten kanavien pinta-alojen summa on laskettu kuvassa 12. Ilmanvaihtokanavien pinta-ala on yhteensä $4,1 \text{ m}^2$. Ilmanvaihtokuilun mitoittaminen kanavien pinta-alojen mukaan on esitetty kuvassa 15.

Kanavien pinta-ala m^2	4,1
Kuilun pinta-ala m^2	13,7

Kuva 15. Ilmanvaihtokuilun mitoittaminen kanavien pinta-alan perusteella.

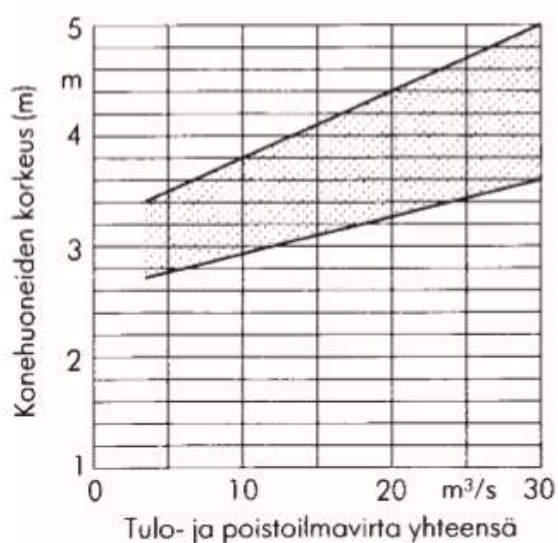
Mikäli ilmanvaihtokuilu mitoitetaan kanavien pinta-alan mukaan, tulisi sen kooksi $13,7 \text{ m}^2$.

6.3 Ilmanvaihtokonehuoneet

Esimerkissä mitoitetaan ilmanvaihtokonehuone, johon tulee kaksi tulo- ja poistoilmanvaihtokonetta. Tulo- ja poistoilmanvaihtokoneet sijoitetaan päällekkäin. Kaikkien koneiden virtaamat ovat $5 \text{ m}^3/\text{s}$, jolloin konehuoneen kokonaisilmamääräksi tulee $20 \text{ m}^3/\text{s}$.

6.3.1 LVI 06-10105

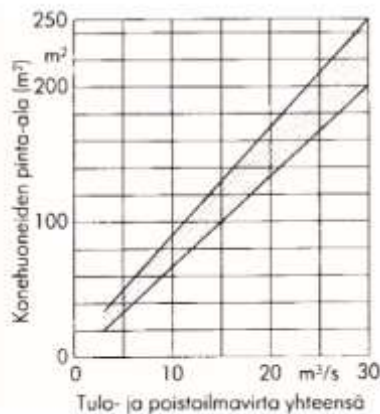
Ilmanvaihtokonehuoneen korkeuden mitoittamiseen käytetään kuvassa 16 olevaa kuvaajaa.



Kuva 16. Ilmanvaihtokonehuoneen korkeuden mitoittustaulukko (16, s. 4).

Ohjekortin mukaan mitoittamalla konehuoneen korkeudeksi saadaan 3,3–4,4 m. Tässä esimerkissä käytetään kuvaajan ylemmää viivaa, jolloin konehuoneen korkeudeksi tulee 4,4 m.

Konehuoneen pinta-alan mitoittamiseen käytetään kuvassa 17 olevaa kuvaajaa.



Kuva 17. Ilmanvaihtokonehuoneiden pinta-alan mitoituskaavio (16, s. 4).

Esimerkin tiedoilla ja käyttämällä kuvaajan ylemmää viivaa, konehuoneen pinta-alaksi tulee 170 m². Kuvaajista luettujen pinta-ala ja korkeus tietojen perusteella voidaan laskea konehuoneen tilavuus, joka on 748 m³. Ilmamäärään suhteutettuna konehuoneen pinta-ala on 8,5 m²/(m³/s) ja tilavuus 37,4 m³/(m³/s).

6.3.2 Mitoitustyökalu

Ilmanvaihtokonehuoneen mitoittaminen luodulla mitoitustyökalulla on esitetty kuvassa 18.

Ilmamäärä m ³ /s	IVKH pinta-ala m ²	IVKH tilavuus m ³
20	271	1196

Kuva 18. Ilmanvaihtokonehuoneen mitoittaminen ilmamäärän perusteella.

Esimerkin arvoilla saadaan konehuoneen pinta-alaksi 271 m² ja tilavuudeksi 1196 m³. Ilmamäärään suhteutettuna pinta-ala on 13,6 m²/(m³/s) ja tilavuus on 59,8 m³/(m³/s).

7 Yhteenveto

Käyttämällä LVI 06-10105 -ohjekortissa olevaa kuilujen mitoittamiseen tarkoitetun kuvaajan ylempää viivaa ero mitoitus työkalulla tehtyyn kuilun mitoitukseen oli 15 %. Mikäli kuilun mitoittamiseen käytetään kanavien vaatimaa pinta-alaa esimerkiksi mukaisilla virtaamilla, mitoitus työkalun antama arvo osuu ohjekortin taulukossa olevien viivojen väliin. Opinnäytetyössä tutkittujen kohteiden kuiluissa olevien kanavien pinta-ala oli n. 30 % kuilun pinta-alasta. Kuilujen tilavarauksia tehdessä ei välttämättä ole tiedossa kanavakokoja tai kanavien lukumäärää, jolloin joudutaan arvioimaan kuilujen koot ilmamäärien perusteella. Käyttämällä ohjekortin mukaista mitoitusta tulee kuiluista alimitoitettuja. Tutkittujen kohteiden kuiluista suurin osa oli $0,7\text{--}1\text{ m}^2/(\text{m}^3/\text{s})$, mutta kuilujen mitoituksissa oli isojakin eroja. Pienemmissä kuiluissa tarvitaan suurempi pinta-ala suhteessa ilmamäärään. Kuilun koon kasvaessa tilan tarve suhteessa ilmamäärään pienenee.

Käyttämällä kuilujen mitoittamiseen ilmanvaihtokanavien pinta-alaa voidaan laskuria käyttää riippumatta käytettävissä olevasta painehäviöstä. Mikäli käytetään ilmamäärään perustuvaa mitoitusta, tulee huomioida uusien rakentamismääräysten aiheuttamat muutokset kanavien mitoituksessa. Opinnäytetyössä tutkittujen kohteiden SFP-luku vaatimukset olivat 2 tai $2,5\text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$, joten laadittua työkalua käytettäessä tulevaisuudessa, tulee uusi SFP-lukuvaatimus $1,8\text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ huomioida työkalun päivityksessä.

Tarkastelemalla ainoastaan uusinta kohdetta, jonka SFP-luku-vaatimus on $2\text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$, kuilut olivat n. 37 % suuremmat kuin vanhempien kohteiden kuilut, joiden SFP-lukuvaatimus oli $2,5\text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Konehuoneiden osalta ero uusimman ja vanhempien kohteiden välillä on pinta-alassa 6 % ja tilavuudessa 11 %. Tästä voidaan päätellä, että uusimassa kohteessa on jouduttu suurentamaan kanavakokoja sekä ilmanvaihtokoneita, jotta on päästy vaadittuun SFP-lukuun. Tämän seurauksena kuilujen pinta-alat sekä konehuoneiden koot ovat kasvaneet.

Ilmanvaihtokonehuoneiden mitoittamisessa mitoitus työkalulla saatiin pinta-alalle ja tilavuudelle n. 60 % suuremmat arvot kuin käyttämällä ohjekorttia, vaikka mitoituksessa käytettiin kuvaajien mukaisia suurimpia arvoja. SFP-luku vaatimukset ovat kasvattaneet ilmanvaihtokoneiden ja -konehuoneiden kokoja niin paljon, että ohjekortin mukaista mitoitusta ei voida käyttää. Ohjekortin laatimishetkellä ei ollut vaatimusta ilmanvaihtojärjestelmän SFP-luvulle. Työssä tehtyjen mitoitus esimerkkien avulla havaittiin, että ilmanvaihtokuilujen ja -konehuoneiden mitoittamiseen tehty ohjekortti tulisi uudistaa, jotta sen arvot vastaisivat nykyisiä rakentamismääräyksiä.

Lähteet

- 1 Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas. 2018. Verkkoaineisto. Talotekniikkainfo. <<https://www.talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas>>. Luettu 9.3.2018
- 2 Seppänen, Olli. 2017. Opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa. Helsinki. FINVAC ry
- 3 Sandberg, Esa. 2014 Ilmastointilaitoksen mitoitus, Ilmastointitekniikka osa 2. Helsinki. Talotekniikka-Julkaisut Oy
- 4 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 1010/2017. 2017. Verkkoaineisto. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010>>. Luettu 9.3.2018
- 5 Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho SFP. 2013. LVI 30-10529. LVI-kortisto. Rakennustieto Oy
- 6 Mäkinen, Pekka; Railio, Jorma. 2009. SFP-opas. Opas ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon määrittämiseen, laskentaan ja mittaamiseen. Helsinki. LVI-talotekniikkateollisuus ry
- 7 Mäkinen, Pekka. 2017. FINVAC 2017. Ominaissähköteho rakentamismääräysten ja ekosuunnitteluasetuksen mukaan. Espoo. Fläkt Woods Oy.
- 8 Seppänen, Olli; Seppänen, Matti. 2004. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Espoo. SIY Sisäilmatieto Oy
- 9 Oksanen, Risto. 2012. Ilmanvaihtolaitteistojen paloturvallisuusopas. Helsinki. Suomen LVI-liitto ry
- 10 Sandberg, Esa. 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Ilmastointitekniikka osa 1. Helsinki. Talotekniikka-Julkaisut Oy
- 11 Seppänen, Olli. 2017. Ilmanvaihdon mitoituksen perusteet. Helsinki. FINVAC ry
- 12 Seppänen, Olli. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Helsinki. Talotekniikka-Julkaisut Oy
- 13 Helsingin kaupungin palvelurakennusten matalaenergiarakentamisohje. LVI-suunnitteluohje. 2011. Helsinki. Helsingin kaupunki
- 14 Mäkinen, Pekka. 2015. Centriflow-3D puhallin. Espoo. Fläkt Woods Oy.
- 15 Recair-mitoitusohjelma. 2017.1.1. Recair Oy

16 Tilanvarausohjeet. 1988. LVI 06-10105. LVI-kortisto. Rakennustieto Oy